

- [1] Kremer R.K., Sigmund E., Hizhnyakov V., Heinh F., Simon A., Muller K.A., Mehring M. Z. Phys. B. Cond. Matter. **86**, 319 (1992).
- [2] Aristov D.N., Maleev S.V. Z. Phys. **B93**, 181 (1994).
- [3] Baranov P.G., Badalyan A.G. In: Phase Separation in Cuprate Superconductors / Ed. E. Sigmund, K.A. Muller. Springer (1994).
- [4] Bakharev O.N., Dooglav A.V., Egorov A.V., Mavrin O.B., Naletov V.V., Teplov M.A., Volodin A.G., Wagner D. In: Phase Separation in Cuprate Superconductors / Ed. E. Sigmund, K.A. Muller. Springer (1994).
- [5] Eremin M.V., Sigmund E. Solid State Commun. **92**, 5, 367 (1994).
- [6] Nozaki H., Itoh S. Phys. Rev. **B48**, 10, 7583 (1993).
- [7] Clementi E., Rosetti C. At. Data Nucl. Data Tables, **14**, 177 (1974).
- [8] Schmidt P.C., Weiss A., Das T.P. Phys. Rev. **B19**, 11, 5525 (1979).
- [9] Faucher M., Garcia D. Phys. Rev. **B26**, 10, 5451 (1982).
- [10] Bi X.X., Eklund P.C. Phys. Rev. Lett. **70**, 2625 (1993).

*Физика твердого тела, том 38, № 3, 1996*  
*Solid State Physics, vol. 38, N 3, 1996*

## ЭПР-ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ $Mn_xV_{1-x}S$

© А.М.Воротынов, Г.В.Лосева

Институт физики им. Л.В.Киренского Российской академии наук,  
660036 Красноярск, Россия  
(Поступило в Редакцию 6 июля 1995 г.)

Создание и исследование новых соединений  $3d$ -металлов с переходом металл-диэлектрик (ПМД), когда электронные превращения сопровождаются изменениями в кристаллической структуре и магнитных свойствах, являются в настоящее время одной из актуальных проблем физики конденсированных веществ и прикладной электроники [1].

Вакантные системы твердых растворов, созданные на основе двух моносльфидов  $3d$ -металлов (структура NiAs), в которых реализуется ПМД по температуре и концентрации, обладают широким диапазоном и сочетанием электрических и магнитных свойств [2].

Для изучения взаимосвязи электронных превращений (ПМД) с изменениями в структуре и магнитном упорядочении этих сульфидных систем требуется привлечение различных экспериментальных методов исследования. Однако для получения более полной информации о состоянии электронной системы в магнитоупорядоченных сульфидах или сульфидах без магнитного порядка, но с магнитными примесями полезно привлечение методов магнитного резонанса. Следует отметить, что именно такая информация о сульфидах с ПМД практически отсутствует.

В настоящей работе впервые сообщаются результаты исследований ЭПР сульфидов системы  $Mn_xV_{1-x}S$  ( $0 < x < 1$ ).

## 1. Образцы и методика эксперимента

Поликристаллические образцы системы получены в вакуумированных кварцевых ампулах из чистых элементов по методикам, описанным в [3,4]. Образцы представляли собой твердые растворы со структурой типа VS (MnP-решетка) для  $0 < x < 0.4$  и кубической ГЦК-решеткой  $\alpha$ -MnS (NaCl) для  $0.5 < x < 1$ .

Исследование ЭПР проводилось на стандартном ЭПР-спектрометре SE/X-2544 ( $\nu = 9.4$  GHz) в температурном диапазоне 77–300 К. Исследовались температурные и концентрационные зависимости ширины линии и интенсивности магнитного резонанса.

## 2. Результаты

Концентрационная зависимость ширины линии магнитного резонанса при комнатной и температуре жидкого азота показана на рис. 1. При концентрации ванадия  $x = 0.05$  наблюдается максимум ширины линии, измеренной при комнатной температуре. При концентрациях ванадия  $x > 0.25$  ширина линии магнитного резонанса не зависит от концентрации. Анализ формы линии магнитного резонанса показал, что при концентрациях атомов ванадия больше 0.6 форма линии является лоренцевой, а при меньших концентрациях отличается и от лоренцевой, и от гауссовой (рис. 2). Температурная эволюция формы линии, показанная на рис. 3, позволила объяснить это отличие одновременным существованием двух линий магнитного резонанса с  $g$ -фактором, равным 2.0036, и различной шириной линии. Температурная зависимость ширины линий и интенсивностей наблюдаемых магнитных резонансов для систем MnS и  $Mn_{0.95}V_{0.05}S$  показана на рис. 4. Ширина линии монотонно возрастает при уменьшении температуры и при температурах Нееля 150 и 148 К соответственно критически уширяется и исчезает. При этом наблюдается остаточное резонансное поглощение со слабой интенсивностью (рис. 4), обусловленное ионами  $Mn^{2+}$ , остающимися парамагнитными ниже  $T_N$ .

Концентрационная зависимость интенсивности магнитного резонанса показана на рис. 5. Интенсивность резко уменьшается с увеличением концентрации ионов ванадия до  $x = 0.15$  и слабо зависит от концентрации при  $x > 0.15$ .

В чистом соединении VS сигнала магнитного резонанса не наблюдалось во всем диапазоне исследуемых температур.

## 3. Обсуждение результатов

Измерения температурной зависимости электропроводности соединений  $Mn_xV_{1-x}S$  [5] выявили, что составы с концентрацией  $0.05 < x < 0.15$  являются изоляторами при  $T = 77$  К с  $\rho = 10^{12} \Omega \cdot \text{см}$  и полупроводниками при  $T = 300$  К с  $\rho = 10^4 \Omega \cdot \text{см}$ . Составы с  $0.15 < x < 0.5$  являются полупроводниками в температурном диапазоне 77–300 К с удельным сопротивлением порядка  $10^6$  и  $10^2 \Omega \cdot \text{см}$  при  $T = 77$  и 300 К соответственно. Резкое возрастание проводимости при увеличении концентрации ионов ванадия свидетельствует о коллективизации их

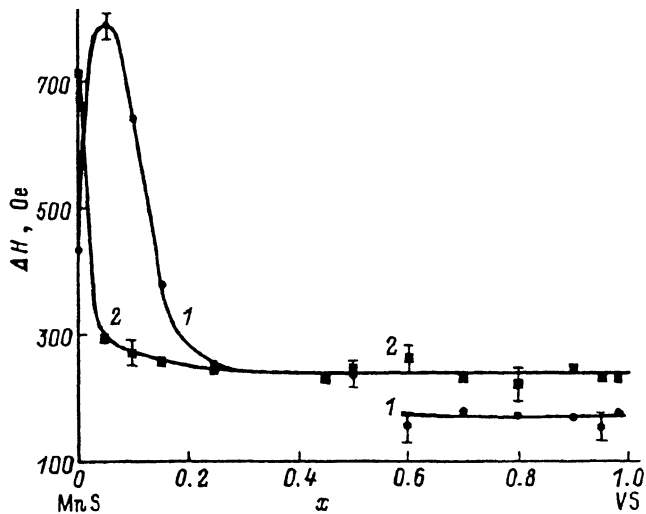


Рис. 1. Концентрационная зависимость ширины линии магнитного резонанса. 1 — при комнатной температуре, 2 — при температуре жидкого азота.

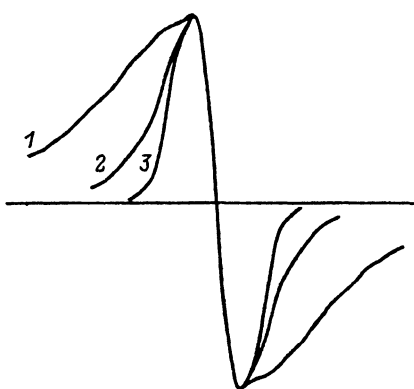


Рис. 2. Форма линии первой производной сигнала магнитного резонанса.

1 — экспериментальная кривая, 2 — лоренцева, 3 — гауссова.

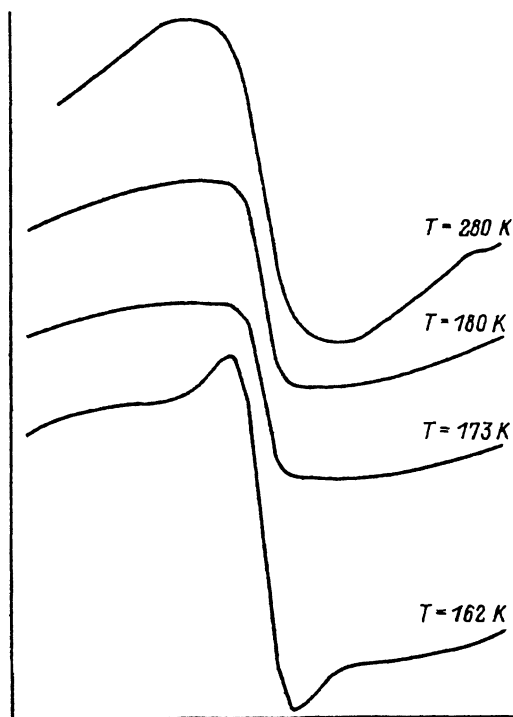


Рис. 3. Температурная эволюция первой производной сигнала магнитного резонанса для  $Mn_{0.95}V_{0.05}S$ .

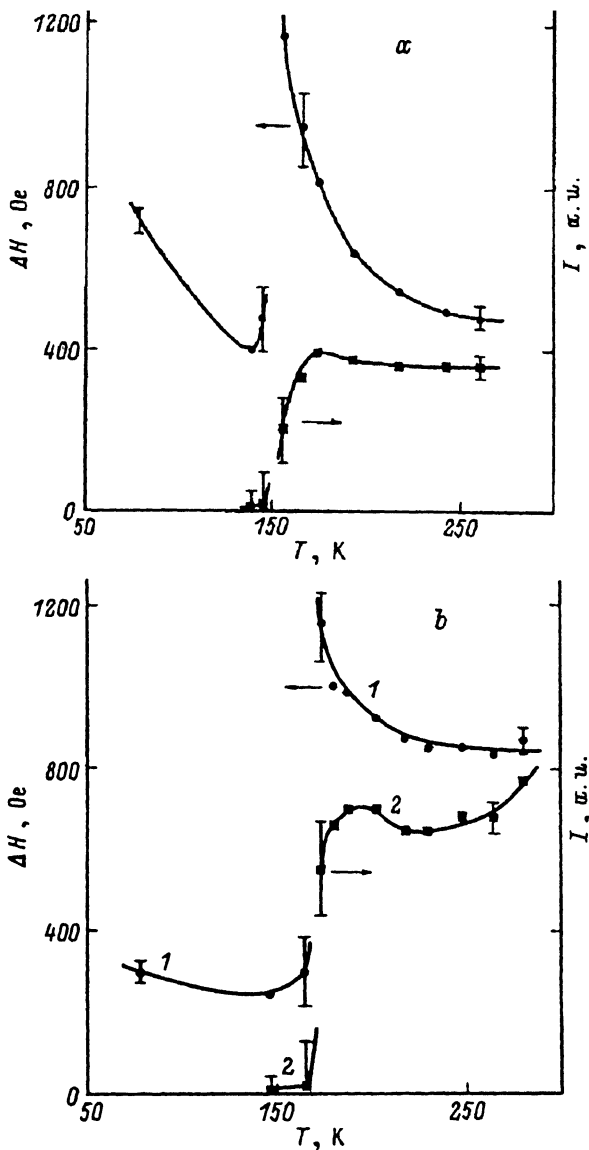


Рис. 4. Температурные зависимости ширины линии и интенсивности магнитного резонанса для  $\text{MnS}$  (a) и  $\text{Mn}_{0.95}\text{V}_{0.05}\text{S}$  (b). 1 — ширина линии, 2 — интенсивность.

электронов и формировании зоны проводимости в данных соединениях. Этот факт подтверждается отсутствием сигнала магнитного резонанса, обусловленного ионами  $\text{V}^{2+}$ , так как наблюдение резонанса на электронах проводимости в данных соединениях чрезвычайно затруднено из-за малости длины свободного пробега электронов и довольно высоких температур измерений.

Результаты измерения магнитной восприимчивости, приведенные в [5], показывают резкое уменьшение эффективного магнитного момента

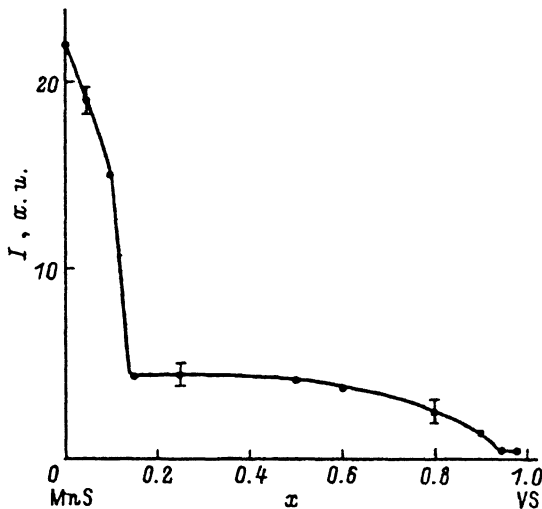


Рис. 5. Концентрационная зависимость интенсивности магнитного резонанса при комнатной температуре.

с увеличением концентрации ионов ванадия от 5.6 для  $\text{MnS}$  до 0.57 для  $\text{Mn}_{0.95}\text{V}_{0.05}\text{S}$ . Этот факт позволяет сделать предположение о том, что при введении ионов ванадия они образуют кластеры с двенадцатью ближайшими соседними ионами марганца, связанные сильным антиферромагнитным обменным взаимодействием. Численное моделирование методом Монте-Карло [5] показало, что в системе  $\text{Mn}_x\text{V}_{1-x}\text{S}$  при  $x = 0.05$  существуют локализованные уровни ионов  $\text{V}^{2+}$ , которые исчезают при увеличении концентрации ионов  $\text{V}^{2+}$  благодаря появлению обменных взаимодействий между ними.

Приведенные выше данные работы [5] позволяют объяснить наблюдаемый максимум ширины линии магнитного резонанса в концентрационной зависимости при комнатной температуре (рис. 1). При малых концентрациях ионов ванадия (порядка 0.05) образуются локализованные уровни антиферромагнитных кластеров  $\text{Mn-V}$ , что приводит к сильному разбросу локальных полей на ионах  $\text{Mn}^{2+}$ , дающих сигнал резонанса, и соответственно к уширению линии магнитного резонанса. При дальнейшем увеличении концентрации ионов ванадия локализованные состояния кластеров исчезают, разброс локальных полей уменьшается, что приводит к сужению линии магнитного резонанса.

Резкое уменьшение интенсивности сигнала магнитного резонанса при увеличении концентрации ионов ванадия от 0 до 0.2 и увеличение при этом электропроводности свидетельствуют о том, что при введении в решетку  $\text{MnS}$  ионов ванадия происходит коллективизация электронов обоих ионов. Слабая зависимость ширины линии магнитного резонанса и его интенсивности от концентрации ионов ванадия при  $x > 0.3$  позволяет сделать предположение, что при данной концентрации зона проводимости в данном соединении является полностью сформированной.

Анализ температурных зависимостей ширины линии магнитного резонанса и его интенсивности (рис. 4) позволяет сделать следующие выводы. Известно, что кристаллическая структура системы  $\text{Mn}_x\text{V}_{1-x}\text{S}$

клонна к нестехиометрии, так что всегда существует часть ионов  $Mn^{2+}$ , связанная с остальными ионами матрицы ослабленными обменными взаимодействиями или вообще не связанная с ними. Таким образом, ширина линии магнитного резонанса, обусловленного основной частью матрицы ионов марганца и имеющего большую интенсивность, уширяется при понижении температуры и исчезает при  $T = T_N$ . При этом становится наблюдаемым сигнал магнитного резонанса малой интенсивности, обусловленный малой частью ионов марганца, остающихся парамагнитными ниже температуры Нееля. Таким образом, кривая 2 на рис. 1 обусловлена малой частью ионов марганца, остающихся парамагнитными при температуре жидкого азота, и не имеет максимума, описанного для кривой 1.

Выражаем благодарность Г.М.Мукоед за полезные обсуждения при выполнении работы.

### Список литературы

- [1] Лосева Г.В., Овчинников С.Г., Петраковский Г.А. Переход металл-диэлектрик в сульфидах 3d-металлов. Новосибирск (1983). 143 с.
- [2] Petrakovskii G.A., Loseva G.A., Ryabinkina L.I., Aplesnin S.S. J. of Magnetic Materials. In print (1995).
- [3] Петраковский Г.А., Аплеснин С.С., Лосева Г.В., Рябинкина Л.И. ФТТ 31, 4, 172 (1989).
- [4] Петраковский Г.А., Лосева Г.В., Мукоед Г.М. ФТТ 36, 1, 112 (1994).
- [5] Петраковский Г.А., Аплеснин С.С., Лосева Г.В., Рябинкина Л.И., Янушкевич К.И., Баранов А.В. ФТТ 35, 8, 2225 (1993).

Физика твердого тела, том 38, № 3, 1996  
Solid State Physics, vol. 38, N 3, 1996

## АКУСТООПТИЧЕСКИЕ И УПРУГИЕ ПАРАМЕТРЫ ТЕЛЛУРИТА ВИСМУТА

© А.М.Антоненко, В.М.Горбенко, Л.Я.Садовская, С.Ю.Ермаков

Днепропетровский государственный университет,  
320000 Днепропетровск, Украина  
(Поступило в Редакцию 8 июля 1995 г.)

При создании различного рода акустооптических (АО) устройств важную роль играет выбор материала светозвукопровода. Расширение функционального использования эффекта АО-взаимодействия обуславливает необходимость поиска новых сред с оптимальным набором параметров. Получение и исследование физических свойств материалов на основе парателлурифта в значительной мере обусловлены уникальными АО-свойствами  $TeO_2$  и широким использованием этого материала при конструировании устройств акустоэлектроники. Имеющиеся в литературе сведения позволяют рассматривать теллурифы как перспективные АО-среды и определяют интерес к синтезу этих материалов. Одним из наиболее изученных в настоящее время является теллурифт висмута  $Bi_2TeO_5$ . Такой интерес к  $Bi_2TeO_5$  связан с его сегнетоэлектрическими и фоторефрактивными свойствами [1,2]. Оценоч-